

# Análisis de viabilidad técnica para el uso de Cobots en pymes manufactureras: un caso de estudio

**Salimbeni, Sergio Duilio**  
[sergio.salimbeni@usal.edu.ar](mailto:sergio.salimbeni@usal.edu.ar)

*Universidad del Salvador (Argentina).*

Fecha de recepción: 29/12/2021<sup>1</sup>  
Fecha de aprobación RIII: 26/02/2022

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un marco de referencia y metodología para el estudio de viabilidad técnica del uso de robots colaborativos en pymes manufactureras. De acuerdo con nuestro estudio anterior, el factor técnico es una de las cinco variables de evaluación para la toma de decisiones para la incorporación de Cobots en estaciones de trabajo, siendo ellas: el factor técnico, el ergonómico, la calidad, el económico-financiero y el regulatorio. Este trabajo se ha realizado en tres fases: (1) se realizó un análisis sistemático de literatura en lo referente a el uso de Cobots en pymes y su correspondiente evaluación técnica, (2) se seleccionó el método de evaluación, y (3) se aplicó a un caso de incorporación de un Cobots en una estación de trabajo de una pequeña empresa de manufactura de productos eléctricos en la Argentina. Esta metodología colaboró con la toma de decisiones de la alta gerencia para comprender si las actividades de alimentación, manipulación y montaje de piezas y componentes eléctricos podrían ser realizadas de manera eficiente y eficaz por medio de un brazo robótico.

**Palabras Claves:** 4<sup>ta</sup> Revolución Industrial; Industria 4.0; pymes; Cobots; Producción.

---

<sup>1</sup> **Artículo Premiado** en el XIV COINI 2021

## Technical feasibility analysis for the use of Cobots in manufacturing SMEs: a case study

### ABSTRACT

The aim of this work was the development of a reference framework and methodology for the technical feasibility study of the use of collaborative robots in manufacturing SMEs. According to our previous study, the technical factor is one of the five evaluation variables for decision-making for the incorporation of Cobots in workstations, being them: the technical factor, the ergonomic factor, the quality, the economic-financial factor. and the regulatory one. This work has been carried out in three phases: (1) a systematic analysis of the literature regarding the use of Cobots in SMEs and its corresponding technical evaluation was carried out, (2) the evaluation method was selected, and (3) the applied to a case of incorporation of a Cobots in a workstation of a small company that manufactures electrical products in Argentina. This methodology collaborated with the decision-making of senior management to understand whether the activities of feeding, handling and assembling electrical parts and components could be carried out efficiently and effectively by means of a robotic arm.

**Keywords:** 4<sup>th</sup> Industrial Revolution; Industry 4.0; SME; Cobot; Production.

## Análise de viabilidade técnica para o uso de Cobots em PMEs manufatureiras: um estudo de caso

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um framework de referência e metodologia para o estudo de viabilidade técnica do uso de robôs colaborativos em PMEs de manufatura. De acordo com nosso estudo anterior, o fator técnico é uma das cinco variáveis de avaliação para a tomada de decisão para incorporação de Cobots nos postos de trabalho, sendo eles: o fator técnico, o fator ergonômico, a qualidade, o fator econômico-financeiro e o regulatório. Este trabalho foi realizado em três fases: (1) foi realizada uma análise sistemática da literatura sobre o uso de Cobots em PMEs e sua correspondente avaliação técnica, (2) o método de avaliação foi selecionado, e (3) foi aplicado a um caso de incorporação de um Cobots em uma estação de trabalho de uma pequena empresa que manufatura produtos elétricos na Argentina. Essa metodologia colaborou com a tomada de decisão da alta administração para entender se as atividades de alimentação, manuseio e montagem de peças e componentes elétricos poderiam ser realizadas de forma eficiente e eficaz por meio de um braço robótico.

**Palavras chave:** 4<sup>a</sup> Revolução Industrial; Indústria 4.0; PMEs. Cobots; Produção.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se propone el estudio del Factor Técnico en la Toma de Decisiones (TdD) para la incorporación de Robots Colaborativos (Cobots) en estaciones de trabajo, fundamentalmente para pymes manufactureras. Esto se realiza en el contexto de la Industria 4.0 (I4.0) y su estándar, la RAMI4.0 [1].

La metodología utilizada se basó en un enfoque mixto y desde la perspectiva de la ingeniería industrial. El alcance de la investigación fue descriptivo y prescriptivo. La metodología, para el marco teórico: búsqueda y gestión bibliográfica, fichas de lectura, método de mapeo y bibliometría. El resultado de esta investigación es el diseño de una simple herramienta de análisis para la TdD considerando, en este caso, solo el factor técnico. La misma se aplicó a un caso práctico en una pyme argentina de manufactura de productos eléctricos. La fundamentación de este trabajo se basa en que la demanda del mercado es cambiante y las empresas buscan agregar valor para diferenciarse. La I4.0 permite una gestión de extremo a extremo, desde el relevamiento de requerimientos de parte de los clientes, hasta la oferta de nuevos servicios de posventa, todo ello enmarcado dentro de la RAMI4.0.

Como instrumento estratégico, la inclusión de Cobots en celdas de trabajo brindan la flexibilidad y mejora de la calidad y desempeño para enfrentar estas nuevas demandas del mercado.

La I4.0 se basa en tres pilares: personas, procesos y tecnologías. Las nuevas tecnologías pueden aumentar la conectividad a lo largo de las cadenas de valor de fabricación, lo que resulta en una mayor calidad y reducción de costos. Específicamente, el Internet de las Cosas Industrial (IIoT) proporciona beneficios en términos de: optimización de la calidad de procesos y productos, mayor productividad, menor desperdicio y fallas, reducción de desperdicios y auto-optimización de líneas de producción [2] [3].

La necesidad de inversión, los modelos comerciales cambiantes, los problemas con la obtención y análisis de los datos distribuidos en toda la organización, las cuestiones legales de responsabilidad y propiedad intelectual, los estándares y desajustes de habilidades, se encuentran entre los desafíos que deben cumplirse si se quiere obtener beneficios a partir de la utilización de nuevas tecnologías industriales y de manufactura [4].

Estas tecnologías industriales y de manufactura se relacionan con la digitalización. La Transformación Digital (TD), no es sólo tecnología, sino que es el cambio asociado con la aplicación de dichas tecnologías digitales en todos los aspectos de la sociedad humana. El término Digital proviene de dígito, y se refiere al sistema binario, y la acción de la conversión a dicho sistema se denomina Digitalización [5]; de allí la expresión difundida como TD.

Es por ello que la digitalización no es una elección; se trata de una necesidad imperiosa para todas aquellas organizaciones que pretenden transitar el camino hacia la I4.0. Es tal su importancia, que la digitalización es considerada como una de las cinco dimensiones del índice de Economía y Sociedad Digital (DESI - Digital Economy and Society Index) que emplea la Comisión Europea para analizar la evolución de los estados miembros en materia de competitividad digital [6].

Las tecnologías digitales aumentan la productividad de los procesos de fabricación y proporcionan a los trabajadores nuevas habilidades. En la fabricación, la información digital es utilizada ampliamente: la información analógica se convierte en digital para facilitar la lectura de datos provisto por las máquinas; se utilizan bases de datos en la nube para recopilar y almacenarlos; se digitaliza la comunicación entre máquinas, bases de datos y productos y las interfaces gráficas de usuario presentan la información digital a los humanos [7].

Uno de los factores más destacados relacionados con la I4.0 son los denominados Sistemas Ciberfísicos (CPS). Los CPS son la integración de los procesos físicos con los procesos virtuales [8]. Los procesos físicos son monitoreados y controlados a través de computadoras, sensores, software y redes integrados. Estos dos sistemas se comunican y funcionan sincrónicamente entre sí. La capacidad de estos sistemas para interactuar con el mundo físico y expandir sus capacidades a través de la computación, la comunicación y el control, es crucial para futuros avances tecnológicos [9]. Con el continuo desarrollo de diferentes dominios tecnológicos, las aplicaciones CPS se han vuelto fundamentales, ya que logran conectar todos los dispositivos físicos a Internet, fusionando el mundo virtual y físico para lograr un producto y una producción inteligente [10]. El mundo físico, el ciberespacio y las redes de comunicación, son el núcleo de la estructura de la CPS. El mundo físico se refiere a los objetos, procesos y entornos físicos que se van a monitorear o controlar; el ciberespacio representa los sistemas de información como los servicios, aplicaciones y unidades de TdD, mientras que las redes de comunicación se refieren a aquellos componentes que logran vincular el ciberespacio con el mundo físico.

Sin lugar a duda, los robots son una pieza clave para resolver, en gran parte, los desafíos mencionados anteriormente. Es importante distinguir entre Robots Colaborativos (Cobots) y Robots industriales. Su diferencia radica en que el Cobot colabora con los humanos y se ubica en su mismo lugar de trabajo y los sistemas robóticos son colaborativos y cooperativos [11].

Un robot industrial está limitado por jaulas de seguridad y sensores que, a menudo, son costosos e impiden un acceso fácil; por su parte los Cobots son accesibles para operadores humanos, su mantenimiento es más simple, sus costos son menores y su seguridad es mayor [12].

Es muy importante tomar en consideración que gran parte del uso de Cobots, provendrán de estaciones de trabajo ya existentes en las pymes [13], y de allí la importancia de este estudio.

En base a la publicación “Marco de referencia para la incorporación de Cobots en líneas de manufactura” [14], se concluye que la decisión de incorporación de Cobots debe considerar los aspectos (i) técnicos, (ii) ergonómicos, (iii) de calidad, (iv) económicos y (v) de regulaciones laborales, higiene y seguridad. El objetivo del presente trabajo es profundizar el análisis del Factor Técnico.

## **2. METODOLOGÍA**

La metodología utilizada se basa en un enfoque mixto [15] y desde la perspectiva de la ingeniería industrial. El alcance de la investigación es exploratorio y descriptivo. El relevamiento de datos para la producción del estado de arte se ha desarrollado en el período febrero de 2020 a julio 2021. La metodología utilizada para la confección del marco teórico ha sido una “búsqueda sistemática de literatura” [16], con fichas de lectura, método de mapeo y técnicas bibliométricas.

Para tal efecto, se han utilizado las herramientas Mendeley™ y VOSviewer™ (Figura 1).

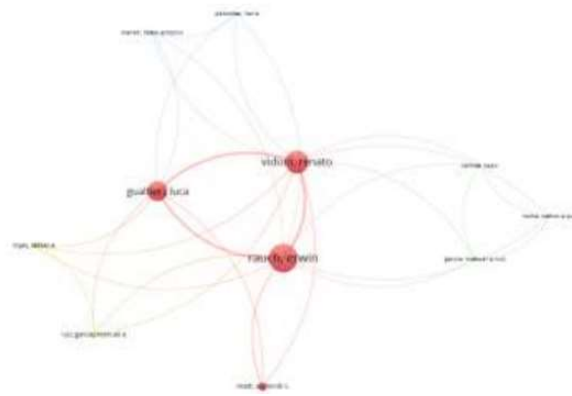


Figura 1. Bibliometría. Visualización en red de principales autores referenciados

El presente proyecto de investigación se ha realizado en tres fases (Figura 2): durante la Fase 1 se realizó una revisión sistemática de la literatura en lo referente a Cobots y métodos de selección para su aplicación en celdas de trabajo; durante la Fase 2 se profundizó el estudio de los factores técnicos a ser considerados para tal fin, generando un marco de referencia para la evaluación de su posible incorporación en estaciones de trabajo manufactureras y en la Fase 3 se aplicó la herramienta de evaluación a un caso práctico en una pyme industrial argentina.



Figura 2. Metodología

En la primera fase, se realizó un screening de 348 documentos de los cuales fueron seleccionados 73 para su análisis, estudiando 29 de ellos en particular. Dicho trabajo se realizó del siguiente modo: (1.1) en bases de datos académicas (Google Académico y Researchgate) con cadena de búsqueda a través de la combinación del operador “o” entre las palabras clave se recogieron las referencias que cumplían con los siguientes criterios: (1.2) fueron publicados en actas de congresos, artículos, revistas, series de libros y libros entre los años 2016 y 2021; (1.3) contenían, al menos, uno de los términos de búsqueda en el resumen, título y / o palabras clave. (1.4) Se eliminaron los duplicados. (1.5) Se descartaron los que no tenían a disposición textos completos. (1.6) Se excluyeron los documentos que definieron la evaluación técnica de Cobots fuera del alcance de este trabajo de investigación. (1.7) Se clasificaron conforme las preguntas de investigación. (1.8) se analizaron los documentos colectados y recopilaron los datos correspondientes de interés para las preguntas de investigación.

Durante la Fase 2 se desarrolló, fundamentalmente a partir de experiencias europeas, un instrumento de evaluación para la conveniencia de la incorporación de un Cobot en una estación de trabajo; y la Fase 3 consistió en la aplicación a un caso de incorporación de un Cobot en una estación de trabajo de una pequeña empresa de manufactura de productos eléctricos en la Argentina.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### Cobots

En 2011, el grupo alemán de científicos Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) presentó por primera vez el término “Industria 4.0” durante la Feria de Hannover, lo que se consideró como el inicio de la cuarta revolución industrial [17] [18] [19].

La I4.0 tiene como objetivo crear fábricas inteligentes, donde las tecnologías de fabricación se actualizan y transforman mediante sistemas ciberfísicos (CPS), Internet de las cosas (IoT) y computación en la nube [20]. Para ingresar a la Industria 4.0, las fábricas del futuro utilizarán tecnología de la información (TI) para digitalizar las operaciones de fabricación y utilizarán aplicaciones descentralizadas para el control de la producción [21].

Estas tecnologías tienen un gran potencial y han acarreado cambios significativos en todos los sectores empresariales. La I4.0 tiene pronosticado ingresos por U\$D 150 mil millones para el año 2024 [22]. En un trabajo realizado en Italia, el 74,8% de los encuestados, han respondido que consideran a la I4.0 como una oportunidad de cambio el cual revitalizará el sector manufacturero italiano [23].

Conforme estudios realizados, los especialistas [24] aseguran que existe una brecha entre las unidades de fabricación existentes y la necesaria para la I4.0. La introducción de estas nuevas tecnologías y la integración de otros habilitadores de la I4.0 están teniendo un importante impacto sociotécnico [25]. La I4.0, la cual comenzó como resultado de la era de la información y la tecnología, incluye sistemas que reciben, transmiten, evalúan y administran datos. Uno de los aspectos clave es que todos los movimientos de los dispositivos en dichos sistemas se controlan y monitorean en tiempo real [26].

El Cobot es clasificado como un tipo específico de Robot, y este último se encuentra encuadrado a su vez dentro de los denominados CPS. La palabra “Robot” fue introducida en la literatura en 1920 por Karel Čapek, nacido en lo que hoy es la República Checa, en su obra R.U.R. (Rossum's Universal Robots). Dicho término proviene de la palabra checa “robotá”, que significa “labor forzada, servicio, esclavo”. Este nombre fue utilizado en el imperio austrohúngaro hasta 1848 [14]. Por su parte, la denominación de Cobot proviene de la contracción de los dos términos en el inglés: “Collaborative Robots”.

La tecnología robótica ha transformado la industria manufacturera desde que se puso en uso el primer robot industrial a principios de los años 1960. Por lo tanto, resulta de gran interés el desarrollo de varios aspectos de los sistemas de robots colaborativos en los que un humano puede hacerse cargo de partes de la tarea que son demasiado complejas o peligrosas, dejándolas para un robot. En consecuencia, en las nuevas configuraciones de fábrica, los humanos y los robots comparten el mismo espacio de trabajo y realizan diferentes tareas de manipulación de objetos de manera colaborativa [27]. La tecnología robótica está mejorando a tal nivel, que actualmente se puede lograr una estrecha colaboración entre humanos y robots. Esto genera nuevas oportunidades en diversas aplicaciones cobóticas novedosas, donde personas y robots trabajan juntos y en equipo [28]. Si bien el Cobot es de gran ayuda para el operador, debe tenerse en cuenta que uno de los mayores riesgos entre un robot y su entorno son las colisiones inesperadas [11]. Las celdas de trabajo robóticas tradicionales, compuestas por múltiples robots cooperantes, son actualmente las más frecuentes. De hecho, a pesar de que son una solución más compleja de mantener y recuperar en caso de fallas, presentan varias ventajas, es decir, menos accesorios y tiempo de ciclo reducido; por lo tanto, es comprensible que se estudien sistemas de múltiples de operadores y robots, en la medida que los Cobots y los operadores humanos puedan trabajar en colaboración [29]. En las fábricas modernas, una de las tareas principales es cómo garantizar la seguridad y la interacción eficiente del robot y el humano en un entorno dinámico e incierto [30]. Esto es analizado por el Factor Ergonómico del modelo. El desarrollo y la mejora de las tecnologías

utilizadas para el diseño de robots colaborativos, junto con la reducción de la inversión necesaria para su instalación, han propiciado una interesante difusión de estos sistemas cobóticos. Investigaciones recientes han demostrado cómo una programación adecuada de un Cobot puede ser crucial para garantizar un uso exitoso de dicho dispositivo [31].

En la tarea de seleccionar y evaluar la conveniencia de la incorporación de un Cobot en celdas de trabajo, se puede considerar la denominada “Arquitectura 5C” (A5C) definida anteriormente para los CPS. Dicha estructura, propuesta por el autor [32], posee 5 niveles; la misma proporciona una guía paso a paso para desarrollar e implementar un CPS para aplicaciones de manufactura. Sus capas abordan variables correspondientes a: (1) conexión inteligente, (2) conversión de los datos para obtención de información, (3) aplicaciones Cyber como Big Data y Analytics, (4) análisis cognitivo y (5) las autoconfiguraciones. Se observan las 5 capas y sus subcapas en la Figura 3.



Figura 3. Arquitectura 5C para implementaciones CPS

Figura 3. Arquitectura 5C para implementaciones CPS

Cabe destacar que la tecnología de los Cobots no está completamente madura y se encuentra aún evolucionando y es por ello que la estandarización del Cobot se encuentra en etapas incipientes. No obstante, ello, existen algunos estándares de Cobots y se adoptan algunos otros estándares de robótica industrial relevantes para una implementación exitosa y segura de los mismos [33]. El principal estándar internacional de Cobots es la ISO / TS 15066: una especificación de requisitos de seguridad para aplicaciones de robots colaborativos. Sin embargo, la ISO / TS 15066 no es independiente y es parte de una familia de normas ISO más amplia, como la ISO 10218- 2: Industrial Robots enmarcada por la ISO 11161: Sistemas de Manufactura Integrados [33] [34].

### Evaluación para la incorporación de Cobots

Conforme el estudio del autor [35] se han identificado tres elementos principales para que un Cobot sea un compañero seguro del operador: (i) monitoreo del entorno, (ii) modelado de las tareas y (iii) planificación [36], pero un aspecto muy importante es el compromiso, el carácter y la motivación de los empleados durante los procesos de implementación de cobot [37].

El monitoreo del entorno requiere, de parte del Cobot, la capacidad de poder mirar, observar en tiempo real, qué es lo que está sucediendo a su alrededor [38]. Por su parte, la planificación y el modelado y simulación de las tareas es una actividad clave para el instrumentador de la solución. Por su parte, [39] asegura que un análisis cualitativo debe realizarse primeramente, considerando el Contexto interno, el externo y el tecnológico.

Se describe a continuación cuáles son los factores generales de evaluación para poder tomar una decisión sobre la conveniencia y viabilidad de instalar un Cobot como colaborador del operador en una estación de trabajo. Basándose en un estudio anterior [14], el cual detalla las variables a considerar al momento de la TdD para la incorporación de un Cobot, se definen los cinco factores clave; ellos son:

- (i) factores técnicos,
- (ii) factores ergonómicos,
- (iii) factores de calidad,
- (iv) factores económicos y
- (v) factores de regulaciones laborales, higiene y seguridad.

Como se cita en aquel estudio, la TdD se realizará con la utilización de cualquier método de TdD multicriterio.

#### **Factor I: Evaluación Técnica.**

El estudio de la viabilidad técnica para la introducción de un Cobot en una celda de trabajo, tiene como objetivo investigar si una tarea puede ser realizada por él de manera eficiente, considerando sus limitaciones técnicas de hardware y / o software.

En general, es necesario verificar si cierto tipo de Cobot, equipado con dispositivos estándar, puede realizar la alimentación, manipulación y / o montaje de los componentes involucrados en una celda de trabajo mediante el uso de recursos adecuados. Las mayores limitaciones, en general, no están en el "brazo" sino en los "grippers" (pinzas) del Cobot [40]. No sólo el brazo robótico y sus pinzas son la clave, sino el estudio de las rutas de movimiento que debe realizar [41].

Para esta evaluación técnica se describe el siguiente proceso de análisis [42] [43]: como primer paso se analizan dos aspectos generales: • estudiar si el componente y / o la secuencia de ensamble requieren dos manos para su manejo y • analizar si el componente y / o la secuencia de ensamble requiere habilidades humanas típicas (por ejemplo, percepción táctil, audición y capacidad de interpretar situaciones. Puntualizando el factor técnico, se tienen los siguientes factores y sub-factores:

#### **Factor Técnico:**

- Capacidad: Carga útil; Ejes; Alcance; Velocidad; Movilidad; Actuación
- Entrada de partes
- Operación: Alimentación de elemento; Manejo del elemento; Montaje del elemento
- Salida del sub-elaborado

Respecto de esta situación de análisis, el autor [34] considera que la Capacidad es la clave de la evaluación, mientras que el investigador [44], en su trabajo "Capability-based task allocation in human-robot collaboration" asegura que la clave está en el tipo de material a manipular, el autor [27] agrega que el factor crítico es en realidad el agarre. Si se consideraran sistemas de ensamblaje colaborativo multi-robot multi-operador, el conjunto Entrada Salida es particularmente importante [25].



Durante este análisis técnico, existen cuestiones críticas respecto de: (1) la alimentación, (2) el manejo y (3) el ensamble. Algunas de las más importantes según la investigación realizada en laboratorio [45], son las siguientes:

**Alimentación:**

- El componente es magnético o pegajoso.
- El componente es un nido o enredo.

**Manejo:**

- El componente no tiene eje de simetría.
- El componente es frágil o delicado.
- El componente es flexible.
- El componente es muy pequeño o grande (en referencia a una mano humana).
- El componente es liviano, por lo que la resistencia del aire crearía problemas en el transporte.
- El componente es resbaladizo.

**Ensamble:**

- Los componentes no tienen una "superficie de referencia" que simplifique el posicionamiento preciso durante el montaje.
- Los componentes no pueden orientarse fácilmente.
- Los componentes no incluyen características que permitan la auto-alineación durante el Montaje.

#### 4. RESULTADOS

A partir del relevamiento sistemático de literatura y estudio de las diferentes variables a ser consideradas para la evaluación técnica del Cobot más adecuado para colaborar en una estación de trabajo, se ha estudiado el caso de un baño de estaño en una pieza clave de un elemento de protección eléctrico. Es el primer Cobot que esta pyme, situada en Buenos Aires, iba a incorporar, y deseaba comparar entre configuraciones posibles con 3 pinzas diferentes, las cuales fueron denominadas G1, G2 y G3. Se consideraron los 9 factores técnicos y se analizó un único escenario.

**Alternativas (Evaluations)**

1. Cobot G1
2. Cobot G2
3. Cobot G3

**Criterios (Criterion) de evaluación** para establecer el ranking de preferencia fueron los siguientes Factores Técnicos, a saber:

1. Carga útil
2. Ejes

3. Alcance
4. Velocidad
5. Movilidad
6. Actuación
7. Alimentación de elemento
8. Manejo del elemento
9. Montaje del elemento

### Escenarios: solo 1 (Scenario1).

El software utilizado para la toma de decisión fue el Visual Promethee™, herramienta para análisis de decisiones multicriterio MDCA (Multicriteria Decision Analysis) por el método Promethee y Gaia. La colecta de datos fue por medio de entrevistas en profundidad al operador y al supervisor del área, y por observación directa. Esta observación se desarrolló durante junio de 2021. Se muestra a continuación la matriz de decisión y las características y Tipos de preferencia utilizados:

Tabla 1. Ejemplo de Tabla insertada en el Texto.

Scenario1	Carga	Eje	Alcance	Velocidad	Movilidad	Actuación	Alimenta...	Manejo	Montaje
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences									
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	1,00	2,00	5,00	7,00	10,00	5,00	1,00	10,00	1,00
Preference Fn.	V-shape	Usual	Usual	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q:	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	1,00	n/a	n/a	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics									
Minimum	10,00	10,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	2,00	8,00
Maximum	10,00	10,00	10,00	5,00	8,00	8,00	8,00	10,00	8,00
Average	10,00	10,00	8,67	5,00	8,00	6,00	8,00	5,67	8,00
Standard Dev.	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	1,41	0,00	3,30	0,00
Evaluations									
G1	10,00	10,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00
G2	10,00	10,00	8,00	5,00	8,00	5,00	8,00	2,00	8,00
G3	10,00	10,00	10,00	5,00	8,00	8,00	8,00	10,00	8,00

Debido a que cada decisor asigna una importancia relativa diferente a cada uno de los criterios seleccionados de acuerdo con la estructura de preferencias, los pesos (weight), o sea, la importancia de cada criterio es asignada por el tomador de la decisión. Es por ello por lo que la solución de un problema multicriterio no depende sólo de la naturaleza de este, sino también del propio decisor. Este último es un aspecto muy importante en el proceso de decisión [46]

Tal como puede observarse en la Tabla 1, la movilidad y el montaje han sido los dos criterios más importantes para el tomador de decisión.

Se observan en la Figura 4 los resultados del análisis, donde se denota claramente que, conforme las preferencias y valoraciones de cada uno de los 9 criterios evaluados, el modelo de pinza G3 es el más adecuado para este tipo de tarea.

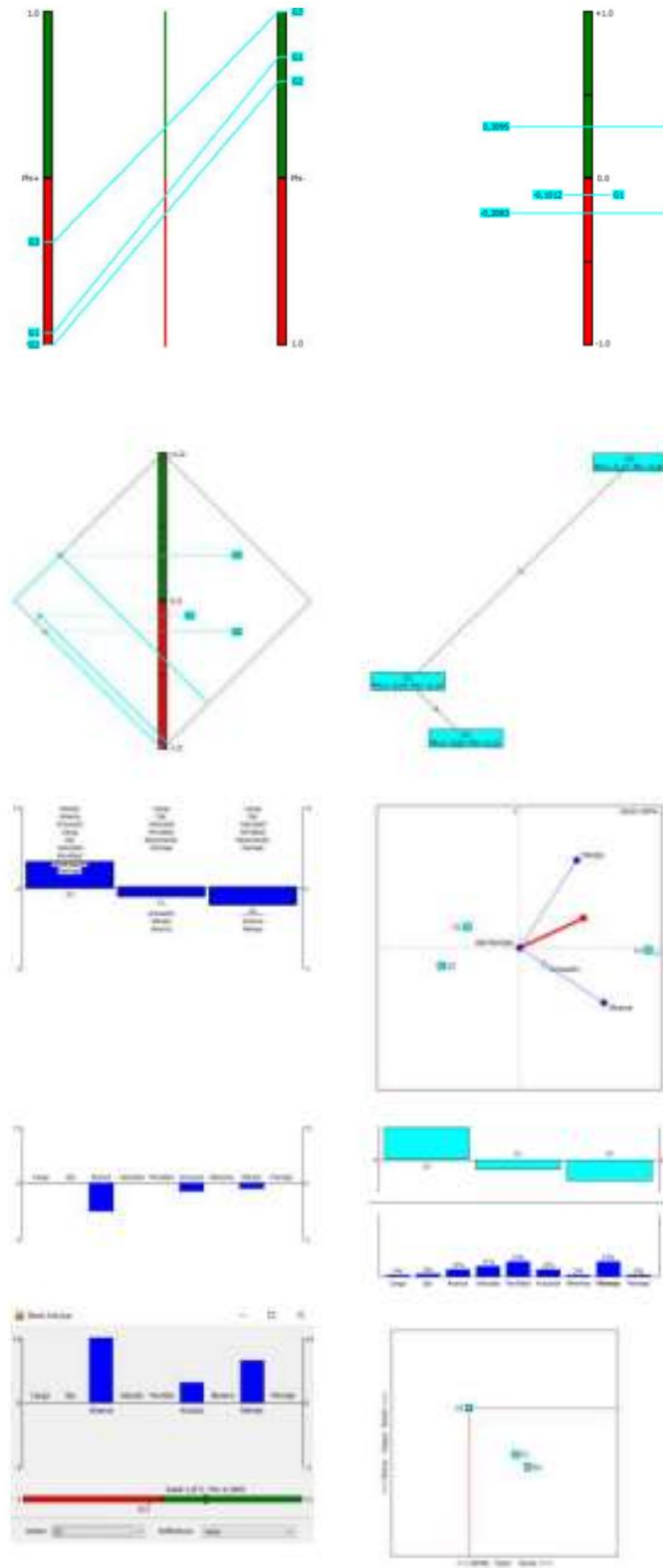


Figura 4. Resultado del análisis de ranking de preferencias

En los criterios de preferencia del tomador de decisión, la pinza G3 es la preferida, situándose claramente alejada de la segunda opción, la G1, y dejando como última alternativa la G2.

Se puede observar en la Figura 5, al robot colaborativo en su fase de testeo y ajuste final, tomando el elemento a tratar desde un soporte y llevándolo y sumergiéndolo en una pequeña cuba.



Figura 5. imágenes del Cobot en período de prueba

Luego de sucesivas pruebas se mejoró el diseño de la “pinza”. Esto fue posible gracias a la utilización de tecnología de la impresión aditiva, la cual permitió un rápido prototipado para las pinzas de prueba.

## 5. CONCLUSIONES, LIMITACIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

La demanda del mercado cambia rápidamente y las empresas buscan agregar valor para diferenciarse. La I4.0 y sus tecnologías habilitadoras ofrecen una serie de herramientas para adaptarse velozmente a estas nuevas demandas, brindando adaptabilidad, mejora de la calidad y desempeño. La producción flexible es una de ellas y la utilización de Cobots en estaciones de trabajo, fundamentalmente en las pymes, es de gran utilidad.

Los gestores deben evaluar diversos aspectos antes de tomar una decisión sobre la conveniencia, o no, de adquirir e instalar un Cobot en sus líneas de producción o en una celda de trabajo en particular. Cinco son los factores clave de evaluación: (i) factores técnicos, (ii) factores ergonómicos, (iii) factores de calidad, (iv) factores económicos y (v) factores de regulaciones laborales, higiene y seguridad. El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un marco de referencia y metodología para el análisis del Factor Técnico, con el fin de utilizar robots colaborativos en pymes manufactureras. Esta metodología colabora con la toma de decisiones de la alta gerencia para comprender si las actividades de alimentación, manipulación y montaje, Factores Técnicos, pueden ser realizadas de manera eficiente y eficaz por medio de un brazo robótico. Se analizaron 3 posibles pinzas (grippers) para el mejor desempeño de esta tarea en particular. Para facilitar la priorización y selección de la pinza más adecuada se utilizó el método de toma de decisiones multicriterio Promethee.

Las limitaciones encontradas en este trabajo de investigación fueron la falta de pruebas con otro tipo de elementos o partes semielaboradas, como así también la evaluación de tareas en otro tipo de industria manufacturera.

Se propone para investigaciones futuras la validación y utilidad de esta metodología, con sus 9 criterios de evaluación técnica para el uso de Cobots, en tareas de manipulación de objetos más complejos, desde el punto de vista geométrico, y con tareas de encastre.

## REFERENCIAS

- [1] Schumacher, Andreas; Nemeth, Tanja and Sihm, Wilfried. (2019). 'Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises', *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 409–414, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.02.110.
- [2] Demartini, Matteo y Tonelli, Flavio. (2018). 'Quality management in the industry 4.0 era', *Proc. Summer Sch. Fr. Turco*, vol. 2018-Septe, pp. 8–14.
- [3] Alcácer, Vítor y Cruz-Machado, Virgilio. (2019). 'Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems', *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 899–919, doi: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.
- [4] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, 'German Standardsation Roadmap: Industrie 4.0', DIN e. V., p. 146. (2018). [Online]. Available: [www.din.de](http://www.din.de).
- [5] Mittal, Sameer; Romero, David y Wuest Thorsten. (2018). 'Towards a smart manufacturing toolkit for SMEs', *IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.*, vol. 540, no. August, pp. 476–487, doi: 10.1007/978-3-030-01614-2\_44.
- [6] Sarachaga, Isabel; Burgos, Arantzazu; Iriondo, Nagore; Alvarez, María Luz y Marcos, Marga. (2019). 'INTEGRACIÓN END-TO-END A TRAVÉS DEL MODELO DEL PRODUCTO 4.0', pp. 155–161.
- [7] Zunk, Bernd y Omazic, Amalia. (2021). *European Professors of Industrial Engineering and Management IEM Teaching and Research at the Crossroads of Innovation , Digitalisation and Sustainability Proceedings of the*, 1st ed., no. 26. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz Technikerstraße 4 8010 Graz Austria.
- [8] Leitão, Paulo; Colombo, Armando y Karnouskos,Stamatis. (2016). 'Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges', *Comput. Ind.*, doi: 10.1016/j.compind.2015.08.004.
- [9] Koçoğlu, Fatma Öney y Demirkol, Denizhan. (2020). *Data in the Context of Industry 4.0*, no. December.
- [10] Romeo, Laura; Petitti, Antonio; Marani, Roberto and Milella, Annalisa. (2020). 'Internet of Robotic Things in Industry 4.0: Applications, Issues and Challenges', *7th Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2020*, pp. 177–182, doi: 10.1109/CoDIT49905.2020.9263903.
- [11] Selvaggio, Mario; Cognetti, Marco, Nikolaidis, Stefanos; Ivaldi, Serena y Siciliano, Bruno. (2021). 'Autonomy in physical human-robot interaction: A brief survey', *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 7989–7996, doi: 10.1109/LRA.2021.3100603.
- [12] Broum, Tomás y Simon, Michal. (2019). 'Preparation of collaborative robot implementation in the Czech Republic', *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, no. July, pp. 453–460.
- [13] Gualtieri, Luca; Rojas, Rafael; Ruiz Garcia, Manuel; Rauch, Erwin y Vidoni, Renato. (2020). *Implementation of a laboratory case study for intuitive collaboration between man and machine in sme assembly*. 2020.

- [14] Salimbeni, Sergio y Mamani, Daniel. (2020). 'Marco de referencia para la incorporación de Cobots en líneas de manufactura', Podium, vol. 38, no. 38, pp. 159–180, doi: 10.31095/podium.2020.38.10.
- [15] Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista, Lucio. (2019). Metodología de la Investigación, 5ta ed. México, D.F.: McGraw Hill, 2010.
- [16] Jos, Francisco. (2019). 'Metodología de revisión sistemática de literatura', no. June, doi: 10.5281/zenodo.3249429.
- [17] Matt, Dominik. (2020). Industry 4.0 for SMEs.
- [18] Sommer, Lutz. (2015). 'Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?', J. Ind. Eng. Manag., vol. 8, no. 5, pp. 1512–1532, doi: 10.3926/jiem.1470.
- [19] Rauch, Erwin. (2020). Industry 4.0+: The Next Level of Intelligent and Self-optimizing Factories. Springer International Publishing.
- [20] Zhong, Ray; Xu, Xun; Klotz, Eberhard y Newman, Stephen. (2017). 'Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review', Engineering, vol. 3, no. 5, pp. 616–630, doi: 10.1016/J.ENG.2017.05.015.
- [21] Mantravadi, Soujanya y Møller, Charles. (2019). 'An overview of next-generation manufacturing execution systems - How important is MES for industry 4.0', Procedia Manuf., vol. 30, pp. 588–595, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.083.
- [22] Ammar, Mohd; Haleem, Abid; Javaid, Mohd; Walia, Rinku y Bahl, Shashi. (2021). 'Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies', Mater. Today Proc., vol. 45, no. xxxx, pp. 5089–5096, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.585.
- [23] Bagnoli, Carlo; Bravin, Alessia; Massaro, Maurizio y Vignotto, Alessandra. (2018). Business Model 4.0 I modelli di business vincenti per le imprese italiane nella quarta rivoluzione industriale, 1st ed. Venezia: Edizioni Ca' Foscari.
- [24] Gadre, Monika y Deoskar, Aruna. (2020). 'Industry 4.0 – Digital Transformation , Challenges and Benefits', Int. J. Futur. Gener. Commun. Netw., vol. 13, no. 2, pp. 139–149.
- [25] Kadir, Bzhwen. (2020). 'Designing new ways of working in Industry 4.0'.
- [26] Ediz, Calga. (2021). 'Metin Madenciligi ile Endüstri 4.0 ' da Yeni Eğilimler', no. January, pp. 0–14, doi: 10.25272/j.2149-8539.2021.7.1.01.
- [27] Kragic, Danica; Gustafson, Joakim; Karaoguz, Hakan; Jensfelt, Patric y Krug, Robert. (2018). 'Interactive, collaborative robots: Challenges and opportunities', IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell., vol. 2018-July, pp. 18–25, doi: 10.24963/ijcai.2018/3.
- [28] Munzer, Thibaut; Toussaint, Marc y Lopes, Manuel. (2017). 'Preference learning on the execution of collaborative human-robot tasks', Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom., pp. 879–885, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989108.

- [29] Boschetti, Giovanni; Bottin, Matteo; Faccio, Maurizio y Minto, Riccardo. (2021). 'Multi-robot multi-operator collaborative assembly systems: a performance evaluation model', *J. Intell. Manuf.*, vol. 32, no. 5, pp. 1455–1470, doi: 10.1007/s10845-020-01714-7.
- [30] Galin, Rinat y Meshcheryakov, Román. (2019). 'Automation and robotics in the context of Industry 4.0: The shift to collaborative robots', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 537, no. 3, pp. 2–7, doi: 10.1088/1757-899X/537/3/032073.
- [31] Fager, Patrik; Calzavara, Martina y Sgarbossa, Fabio. (2020). 'Modelling time efficiency of cobot-supported kit preparation', *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 106, no. 5–6, pp. 2227–2241, doi: 10.1007/s00170-019-04679-x.
- [32] Lee, Jay; Bagheri, Behrad y Kao, Hung An. (2015). 'A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems', *Manuf. Lett.*, vol. 3, no. December, pp. 18–23, 2015, doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
- [33] Matthias, Björn y Reisinger, Thomas. (2016). 'Example application of ISO/TS 15066 to a collaborative assembly scenario', *47th Int. Symp. Robot. ISR 2016*, no. June, pp. 88–92.
- [34] Cohen, Yuval; Shoval, Shraga; Faccio, Maurizio y Minto, Riccardo. (2021). 'Deploying cobots in collaborative systems: major considerations and productivity analysis', *Int. J. Prod. Res.*, no. January, pp. 0–35, doi: 10.1080/00207543.2020.1870758.
- [35] Mark, Benedikt y Rauch, Erwin. (2021). *Implementing Industry 4.0 in SMEs*, no. May. 2021.
- [36] Modrák, Vladimír y Šoltysová, Zuzana. (2020). *Development of an Organizational Maturity Model in Terms of Mass Customization*.
- [37] Lambrechts, Wim; Klaver, Jessica; Koudijzer, Lennart y Semeijn, Janjaap. (2021). 'Human Factors Influencing the Implementation of Cobots in High Volume Distribution Centres', *Logistics*, vol. 5, no. 2, p. 32, doi: 10.3390/logistics5020032.
- [38] Galin, Rinat; Meshcheryakov, Roman; Kamesheva, Saniya y Samoshina, Anna. (2020). 'Cobots and the benefits of their implementation in intelligent manufacturing', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 862, no. 3, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/862/3/032075.
- [39] Correia Simões, Ana; Soares, António y Barros, Ana. (2020). 'Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations', *J. Eng. Technol. Manag. - JET-M*, vol. 57, no. March 2019, p. 101574, doi: 10.1016/j.jengtecman.2020.101574.
- [40] Pauliková, Alena; Babelová, Zdenka y Ubárová, Monika. (2021). 'Analysis of the impact of human–cobot collaborative manufacturing implementation on the occupational health and safety and the quality requirements', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 4, pp. 1–15, doi: 10.3390/ijerph18041927.
- [41] Djuric, Ana; Rickli, J L y Urbanic, R J. (2016). 'A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems', *SAE Int. J. Mater. Manuf.*, vol. 9, no. 2, pp. 457–464, 2016, doi: 10.4271/2016-01-0337.

- [42] Rauch, Erwin; Matt, Dominik; Brown, Christopher; Towner, Walter; Vickery, Andrew y Santiteerakul, Salinee. (2018). 'Transfer of industry 4.0 to small and medium sized enterprises', *Adv. Transdiscipl. Eng.*, vol. 7, no. September, pp. 63-71, 2018, doi: 10.3233/978-1-61499-898-3-63.
- [43] Gualtieri, Luca; Rauch, Erwin; Rojas, Rafael; Vidoni, Renato y Matt, Dominik. (2018). 'Application of Axiomatic Design for the Design of a Safe Collaborative Human-Robot Assembly Workplace', *MATEC Web Conf.*, vol. 223, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201822301003.
- [44] Ranz, Fabiean; Hummel, Vera y Sihm, Wilfried. (2017). 'Capability-based Task Allocation in Human-robot Collaboration', *Procedia Manuf.*, vol. 9, pp. 182-189, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.04.011.
- [45] Gualtieri, Luca; Rauch, Erwin; Vidoni, Renato y Matt, Dominik. (2020). 'An evaluation methodology for the conversion of manual assembly systems into human-robot collaborative workcells', *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 358-366, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.046.
- [46] Fernandez, Gabriela. (2002). 'Los Métodos PROMETHEE: una Metodología de Ayuda a la Toma de Decisiones Multicriterio Discretas', *Ser. Monográfica. Rev. Rect*, p. 17, 2002, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:LOS+M?TODOS+PROMETHEE+:+Un+a+Metodolog?a+de+Ayuda+a+la+Toma+de+Decisiones+Multicriterio+Discretas#1>.